

doi: 10.7690/bgzd.2014.11.016

## 抗仿射变换图像局部特征检测与匹配算法研究

张江辉<sup>1</sup>, 钱昆<sup>2</sup>

(1. 陆军军官学院高过载弹药制导控制与信息感知实验室, 合肥 230031;

2. 陆军军官学院研究生管理大队 3 队, 合肥 230031)

**摘要:** 针对 SIFT 局部特征在图像发生大视角变化时匹配失效的问题, 提出了一种基于仿射变换模型的图像局部特征检测和匹配算法。通过建立图像仿射变换模型, 对相机光轴视角变换的纬度角  $\theta$  和经度角  $\phi$  进行模拟, 并采用 SIFT 算法进行特征检测, 基于最邻近法进行特征匹配, 使算法除了具有 SIFT 本身的抗图像缩放、旋转和亮度变化等特点外, 还具有较强的抗仿射变换能力。试验结果表明: 当图像发生相对斜率较大的仿射变换时, 该图像特征检测和匹配算法仍有较强的抵抗能力。算法可用于图像末端寻的制导弹丸和空中侦察设备拍摄的图像进行有效匹配。

**关键词:** 局部特征检测; 抗仿射变换; 倾斜模拟; 图像匹配

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## Research on Affine Invariant Image Local Feature Detecting and Matching Algorithm

Zhang Jianghui<sup>1</sup>, Qian Kun<sup>2</sup>

(1. High Over-Loading Ammunition Guidance & Reconnaissance Laboratory, Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China;

2. No. 3 Team, Administrant Brigade of Postgraduate, Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

**Abstract:** As for the invalidation of SIFT (scale invariant feature transform) algorithm in the situation of large-angle affine transform, this paper studies on the image local feature detecting and matching algorithm based on affine transform. Firstly, the image tilt transform is simulated caused by the latitude  $\theta$  and longitude  $\phi$  of camera axis movement. Then, the SIFT algorithm is used to detect the feature and match the image couples with nearest neighbor algorithm. Thus, the algorithm has the capabilities of resisting image scaling, rotation and luminance which SIFT has besides affine invariant in image matching. Experiment result shows that the proposed algorithm has nicer matching performance in larger-angle affine transform, which can be used in the image matching for image-guiding projectile and the air reconnaissance equipment.

**Keywords:** local feature detecting; affine transform invariant; tilt simulation; image matching

### 0 引言

图像匹配是通过研究不同图像中目标的相似程度, 建立起图像之间目标的对应关系, 是目标识别、跟踪、图像配准和机器视觉等的基本步骤, 在基于景象匹配和图像寻的制导的精确制导武器中得到广泛应用。当对从不同视角和距离拍摄的目标图像进行匹配时, 图像之间往往存在仿射变换, 这就要求图像匹配算法能够抗这种变化。

传统的基于模板的图像匹配算法, 在当图像发生缩放、旋转等变化时匹配效率大大降低, 甚至完全失效<sup>[1]</sup>。图像局部不变性特征是从图像的局部结构出发, 用局部信息构造出具有结构不变性的描述子, 当图像发生部分遮挡、变形和光照变化等时也能正确匹配目标, 因此受到越来越多研究者的重视。近年来, 涌现出许多基于局部特征的图像匹配算法, 如 Harris 角点检测、Hessian-Laplace、Harris-affine、SIFT (scale invariant feature descriptor) 和 MSER

(maximally stable extremely region) 算法等。由于 SIFT 算法采用 DoG 算法原理进行特征检测, 并将特征检测与特征描述、特征匹配完整地结合起来, 既保证了特征点对旋转、缩放的不变性, 又较好地解决了光照变化、部分遮挡等的影响。实践结果证明: SIFT 算法在稳定性上均优于其他特征匹配算法<sup>[1-2]</sup>; 但是, 研究表明当 2 幅图像视角变化较大时, SIFT 算法就无能为力了<sup>[3]</sup>。

针对上述问题, 笔者在对图像仿射变换进行模拟的基础上, 采用 SIFT 算法进行特征检测和匹配。结果表明, 改进的图像匹配算法大视角仿射变换有较好的适应性。

### 1 图像仿射变换模型

图像的几何变换通常包括 5 部分<sup>[1,4]</sup>: 平移、欧几里得变换 (平移+旋转)、相似 (平移+旋转+缩放)、仿射变换和投影变换等, 如图 1 所示。

收稿日期: 2014-05-20; 修回日期: 2014-06-24

作者简介: 张江辉 (1980—), 男, 河南人, 硕士, 讲师, 从事图像获取、采集与处理研究。

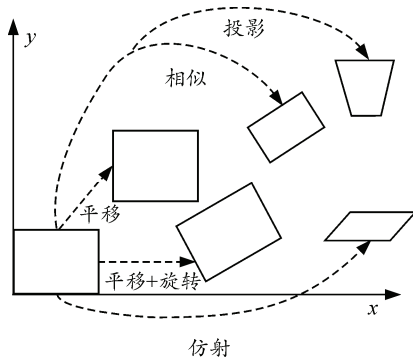


图 1 图像的几何变换类型

图像的几何变换是由于相机光轴在三维空间的运动引起，除投影变换外，图像几何变换模型可以用下式来表示：

$$f = Ax + b \tag{1}$$

式中： $x$  为原始图像； $f$  为几何形变图像； $A$  为仿射变换矩阵； $b$  为平移变换矩阵。仿射变换矩阵  $A$ <sup>[4-5]</sup> 可表示为：

$$A = H_\lambda R_1(\varphi) T_1 R_2(\phi) = \lambda \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \tag{2}$$

式中： $\lambda$  为缩放因子， $R(\varphi)$  表示相机绕光轴的旋转角度  $\varphi$  引起的图像变形； $T_1$  表示图像的斜率，是由被测物体平面  $u$  的法线与相机光轴之间的夹角  $\theta$  引起的，定义为光轴和被测物面之间的纬度角， $t = \frac{1}{\cos\theta}$ ； $R(\phi)$  表示被测物法平面  $u$  和相机光轴映射平面之间的夹角  $\phi$ ，定义为光轴和被测物面之间的经度角，各参数的物理意义如图 2 所示。

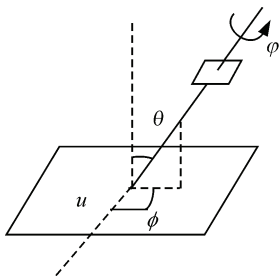


图 2 图像仿射变换各参数分解

相机绕光轴的旋转  $\varphi$ ，前后倾斜  $\theta$ ，左右倾斜  $\phi$ ，以及相机相对于物体前后运动引起的放大倍数  $\lambda$ ，都可导致图像发生变形，使图像产生从正视角  $\lambda_0 = 1$ ， $t_0 = 1$ ， $\varphi_0 = \phi_0 = 0$ ，到斜视角  $\lambda$ 、 $t$ 、 $\varphi$ 、 $\phi$  的如公式 (2) 的仿射变换。由于 SIFT 特征提取算法对图像发生缩放、旋转变换进行了模拟和归一化处理，即对式 (2) 中缩放因子  $\lambda$  和旋转角度  $\varphi$  进行了模拟

和归一化处理，使算法能够适应这 2 种变换。因此，文中的讨论主要针对相机光轴倾斜角度  $\theta$  和  $\phi$  引起的图像倾斜变换上。

式 (2) 中定义的图像倾斜值  $t$  是相机视角从正视到斜视所形成的变形率，称为绝对斜率。实际的图像匹配往往在 2 个斜视角度成像之间进行。在此，定义 2 个斜视图像之间的斜率变化  $T(u_1, u_2)$  为相对斜率，2 个绝对斜率为  $t$  和  $t'$  所成的图像  $u_1$ 、 $u_2$  之间的相对斜率<sup>[5]</sup>为  $T=t \times t'$ 。现实中绝对斜率很容易达到 6、8，因此相对斜率可达 36、64 甚至更高。

在目标识别、跟踪等需要进行图像匹配时，算法抗视角变换性能是考察的重点，即考察算法对 2 幅图像成功匹配所能容忍的最大相对斜率  $T_{max}$ 。试验结果表明<sup>[1,3]</sup>，SIFT 有效工作的最大相对斜率变化  $T_{max} \approx 2$ ，Hessian-Affine 和 Harris-Affine 最高可达到约 2.5，MSER 则可达到 5~10 之间。但是，除 SIFT 算法外，其他几种算法未考虑图像尺度变化，当图像尺度变化较大时，这些算法将失效。

## 2 算法描述及实现步骤

SIFT 算法最大的成功之处在于模拟和归一化相结合的处理思想，在运算的过程中采取了对旋转和平移进行归一化，对尺度变化进行模拟的策略，较好地解决了图像旋转、平移和缩放对图像匹配的影响。为了抗仿射变换的影响，笔者借鉴 SIFT 算法的思想，通过对相机光轴视角变换的纬度角  $\theta$  和经度角  $\phi$  进行模拟，如图 3 所示，再采用 SIFT 算法进行特征检测，这样既保留了 SIFT 算法的优越性，又克服了视角变化的影响。

算法实现步骤如下：

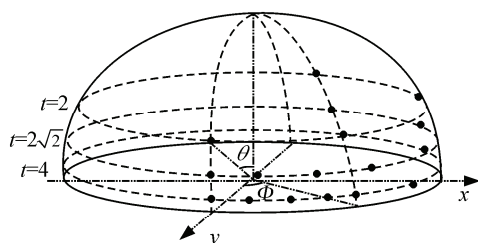
1) 模拟纬度角  $\theta$  所对应的斜率  $t$ ，可以通过对图像的降采样实现，根据 Jean-Michel Morel 的建议<sup>[5]</sup>， $t$  的取值可以是  $1, a, a^2, \dots, a^n$ ，其中  $a = \sqrt{2}$ ，指数  $n$  最大取值为 5。因此，相对斜率取值最大可达 32。由于  $t = \frac{1}{\cos\theta}$ ，模拟的最大纬度角可达  $80^\circ$ 。

2) 由于斜率  $t$  的模拟是在通过图像的降采样完成的，为减少图像失真，需要对图像进行抗走样处理。通过采用标准差为  $c\sqrt{t^2-1}$  的高斯卷积滤波完成。在文献[3]中 Lowe 建议该值取  $c = 0.8$ 。

3) 与斜率  $t$  的采样值相对应，经度  $\phi$  也用 1 组采样数据  $0, b/t, \dots, kb/t$ ，其中取  $b = 72^\circ$ ，整数  $k$  的取值要保证  $kb/t < 180^\circ$ ，也即经度角模拟范围为  $[0^\circ,$

180°]。

4) 在对纬度、经度变化模拟的基础上，再采用能抗尺度、旋转和平移变化的 SIFT 算法对所有模



拟出来的图像进行特征检测。

5) 对检测得到的特征，采用最邻近匹配法<sup>[1]</sup>进行特征匹配。

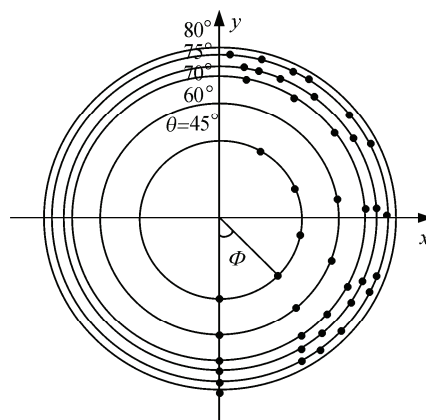


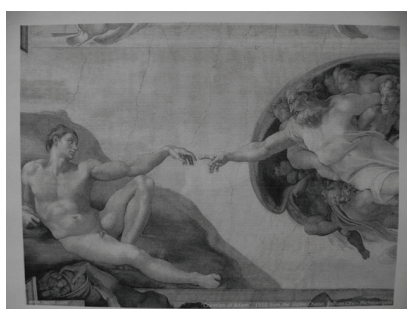
图 3 相机光轴纬度角  $\theta$  和经度角  $\phi$  模拟仿真

### 3 试验

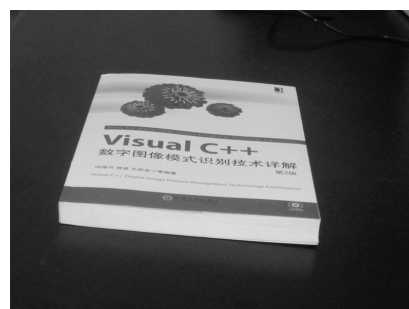
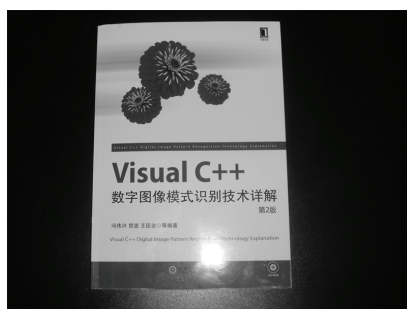
如前所述，由于 SIFT 局部特征检测和匹配算法在抗图像缩放、旋转、光照变化、小视角变化和目

标部分遮挡等方面均具有良好的匹配性能，而且文中的算法也是在 SIFT 算法基础上的改进。因此，这里只比较图像发生大视角变换时文中的算法和

SIFT 算法的特征检测和匹配的效果，其他情况下认为二者的匹配性能相同或相近，不再赘述。  
 试验采用机器视觉标准图像库中的 2 幅图像和实际拍摄的 2 幅图像，分别模拟正视图像和倾斜图像，图像两两之间拍摄角度差 80°左右(相对斜率 32)，可以看到图像之间存在较大的仿射变换，如图 4 所示。



(a) 机器视觉标准图像库中的 2 幅图像



(b) 实际拍摄的 2 幅图像

图 4 待匹配的原图像

SIFT 算法和文中算法的匹配结果如图 5 所示。左侧图像中用紫色细线连接的对应点是 SIFT 算法匹配的结果，右边用白色细线连接的对应点是文中算法匹配结果。可以看到：在 2 幅图像发生较大视

角变化时，SIFT 算法匹配结果很不理想，仅有的几个匹配点对也基本是错误的匹配结果；而文中算法则可有很好的匹配效果。试验结果数据对比如表 1。